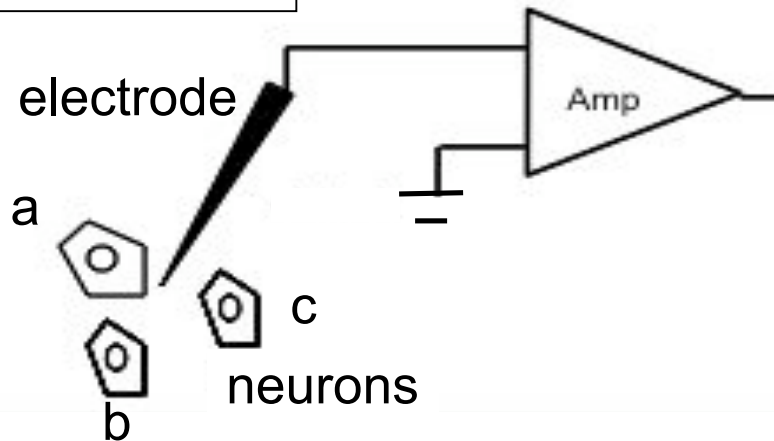


細胞外記録法における単一電極による スパイクソーティング

大阪大学大学院 生命機能研究科
脳神経工学講座 視覚神経科学研究室
E0167804 池田 孟

スパイクソーティングとは、何か。

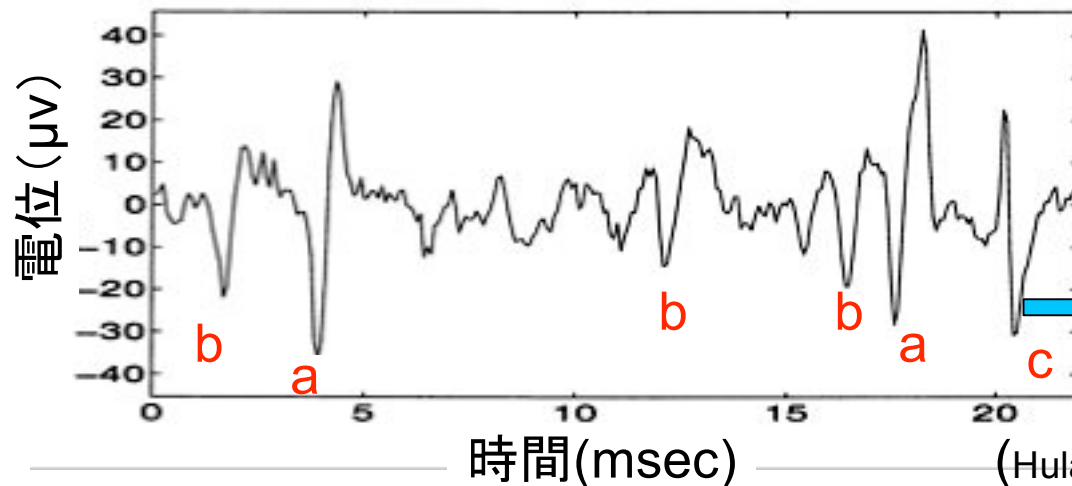
細胞外記録法



波形の特徴がそれぞれ異なる

- 電極の近くのニューロンのスパイクを記録する。
- 電極の周囲には、複数のニューロンが存在する事がある。複数のニューロンからのスパイク列を記録する。
- 個々のニューロンからのスパイク列を知りたい。
- 観測したスパイク列をニューロ個々のスパイクに選り分ける作業をスパイクソーティングという。

複数のニューロンからのスパイク列

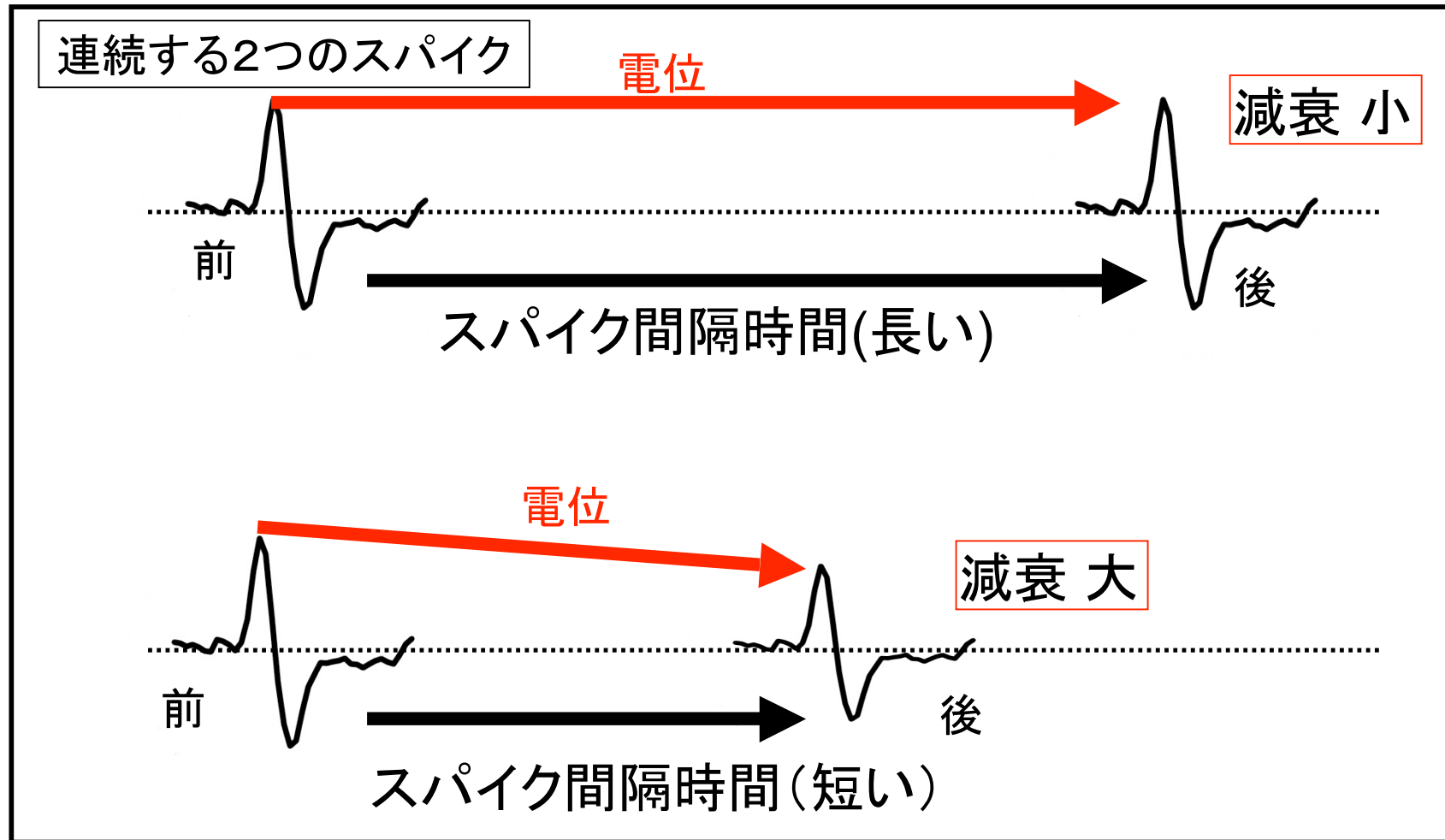


- スパイクソーティングは、個々のニューロンによってスパイク波形の特徴が異なる事に基づく。

スパイクソーティングにより、各スパイクがどのニューロンからきたのか選り分ける事ができた。

(Hulata, 2004)

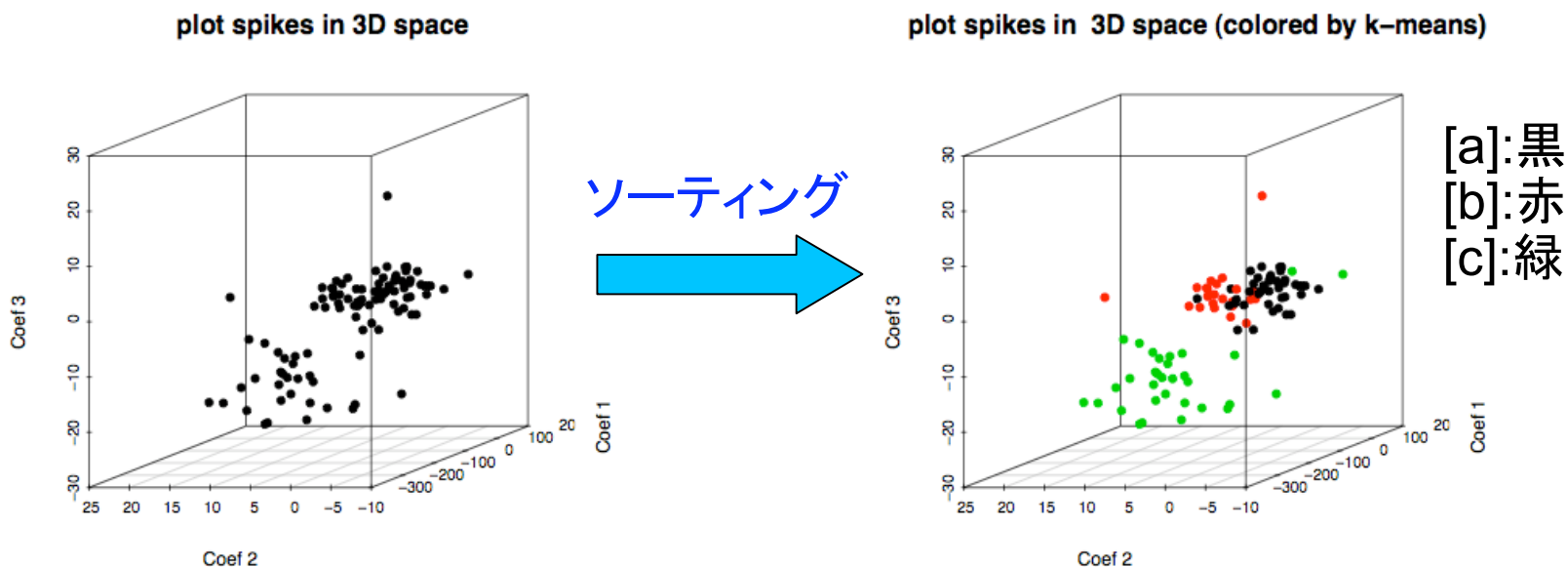
スパイク電位の減衰 (従来の手法では、考慮に入れていない。)



ニューロンによっては、スパイク間隔時間の短いスパイクの電位を大きく減衰させる。

従来の手法によるソーティング

従来の手法を用いるとスパイクの波形の特徴の違いを視覚化できる。スパイクを判別することが可能になる。



3つのニューロンa,b,cからのスパイク列。

各点はスパイクを表す。

列: ソーティング後

	[a]	[b]	[c]
行: 正解			
a	33	1	1
b	11	23	1
c	0	0	30

ニューロンa,b,c,からのスパイクと考えられるスパイクを[a],[b],[c]とした。

ニューロンaから発火されたスパイクを間違って[b]としたスパイクが(11/35)あった。

今回開発した手法

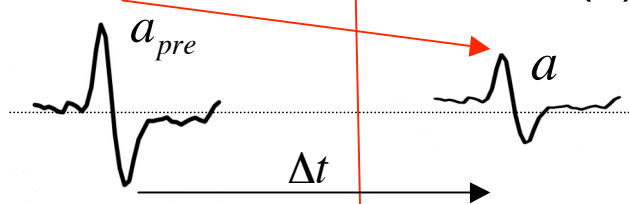
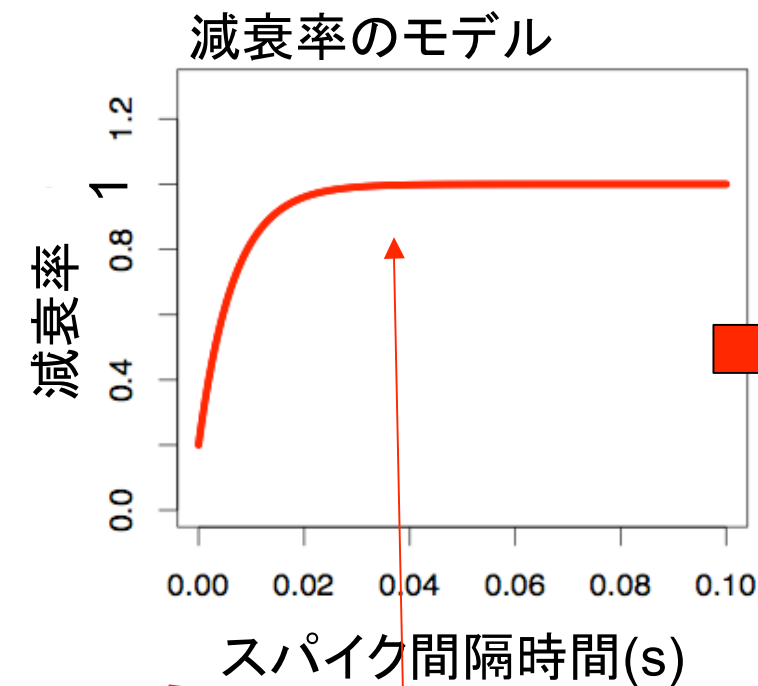
減衰によるスパイク電位の変動を考慮に入れた。

今回開発した手法は、従来の手法でソーティングできなかった結果を補正するものである。従来の手法と組み合わせる事により、より精度の高いスパイクソーティングを目指した。

マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) と呼ばれる手法によって、実装した。

ここからは、今回開発した手法について話します。

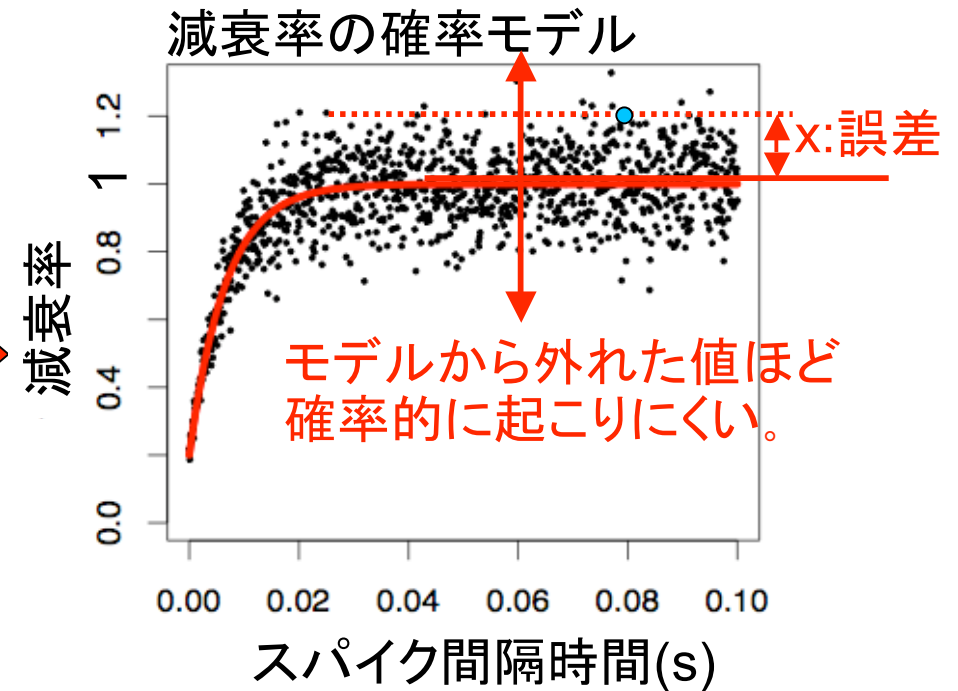
スパイク電位の減衰率に関する確率モデル



減衰率

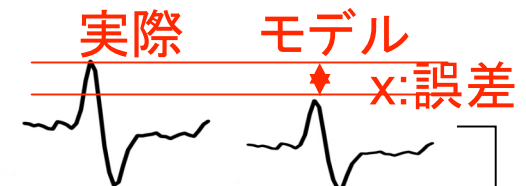
$$a = \left(1 - \delta \exp(-\lambda \Delta t) \right) a_{pre}$$

(Fee MS et al, 1996)



モデルと観測値とのズレは、 $N(0, \sigma^2)$ とする。

σ : モデルの値の0.1倍



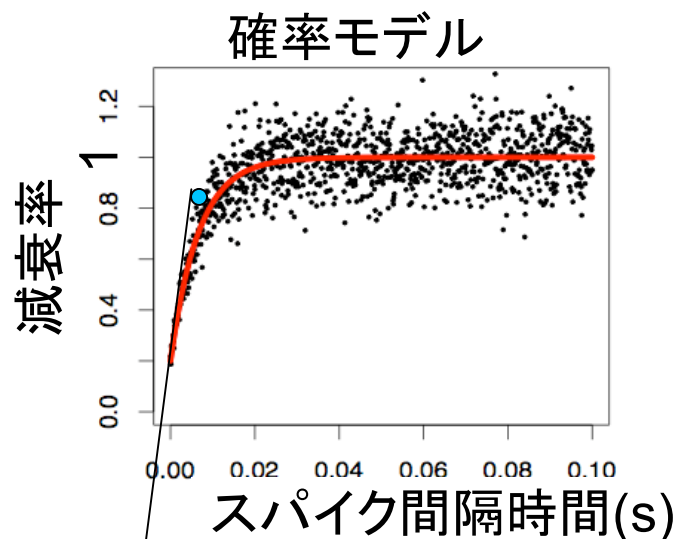
確率モデル

$$P_{amp}(a | \Delta t, \delta, \lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \left| a - a_{pre} \left(1 - \delta \exp(-\lambda \Delta t) \right) \right|^2\right)$$

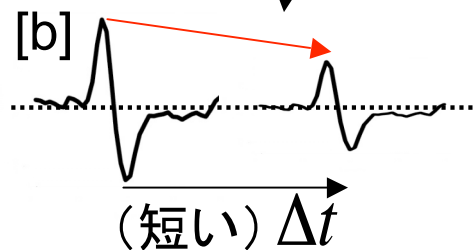
確率モデルを使ってスパイクソーティングを行う。

確率モデルによるスパイクソーティング(2つのスパイクの場合)

- (1) 2つのスパイクについて、実際の電位の値と減衰の確率モデルを比べて、現在のラベルの状態が妥当か、どうかという事を調べる。
- (2) 減衰率が確率的に妥当ならば、ラベルを変更せず、妥当でなければ、ラベルを変更する。



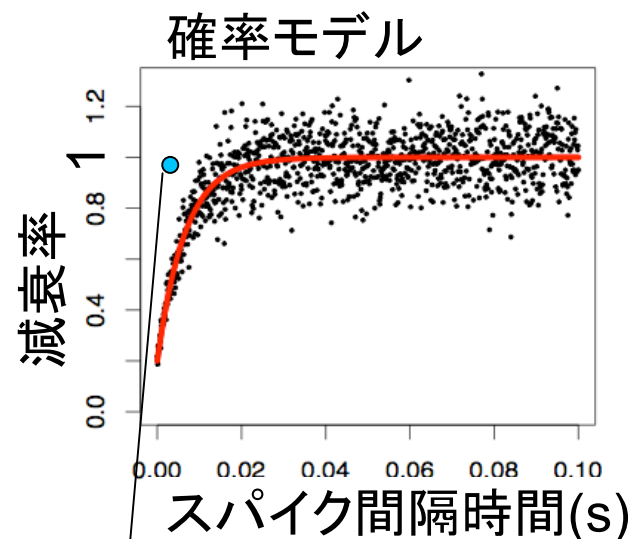
減衰が確率的に妥当。



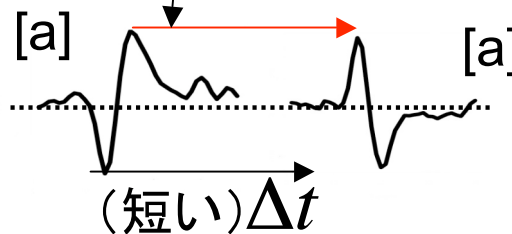
[b]

ラベル変更なし

[a]



確率的に妥当でない。減衰率小



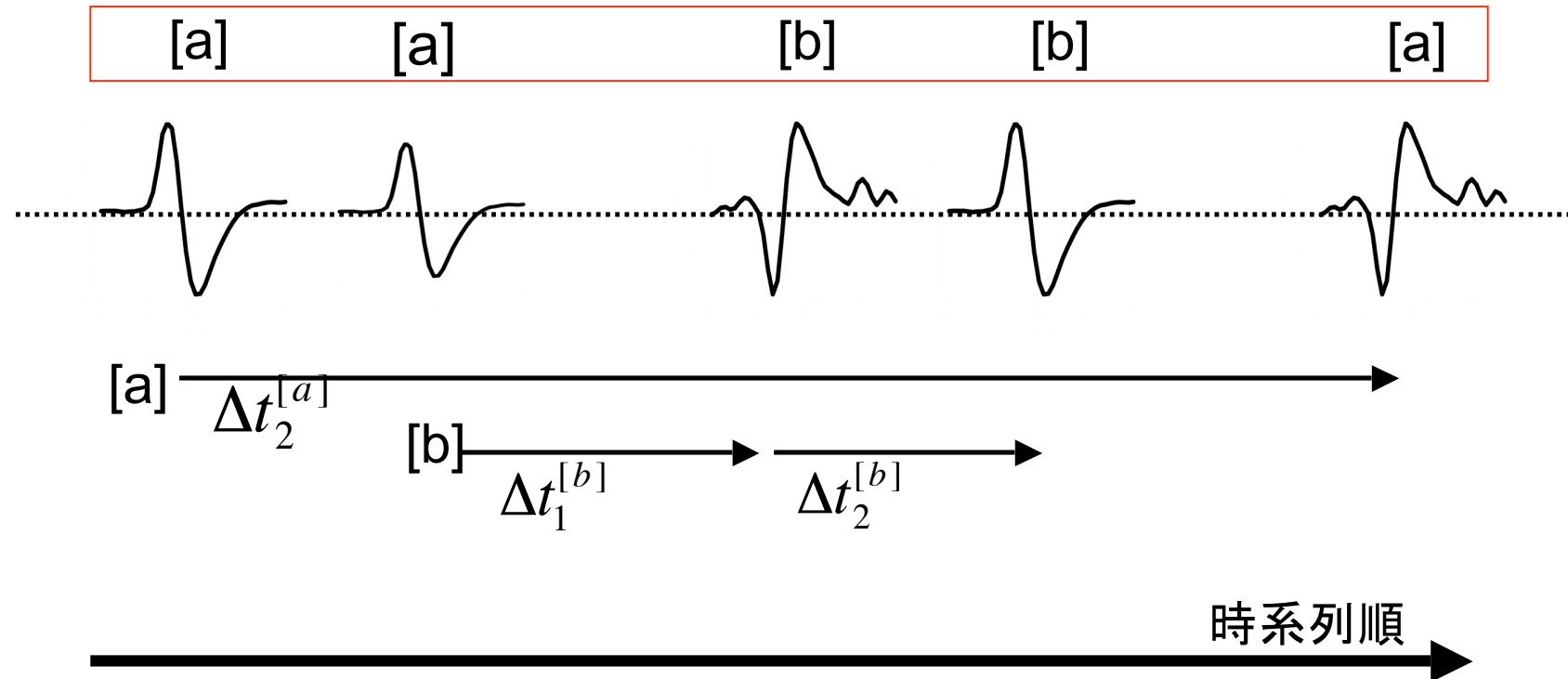
ラベル変更

[b]

確率モデルによるスパイクソーティング(スパイク列の場合)

初期状態

仮定する各スパイクのラベル(従来の手法の結果から)

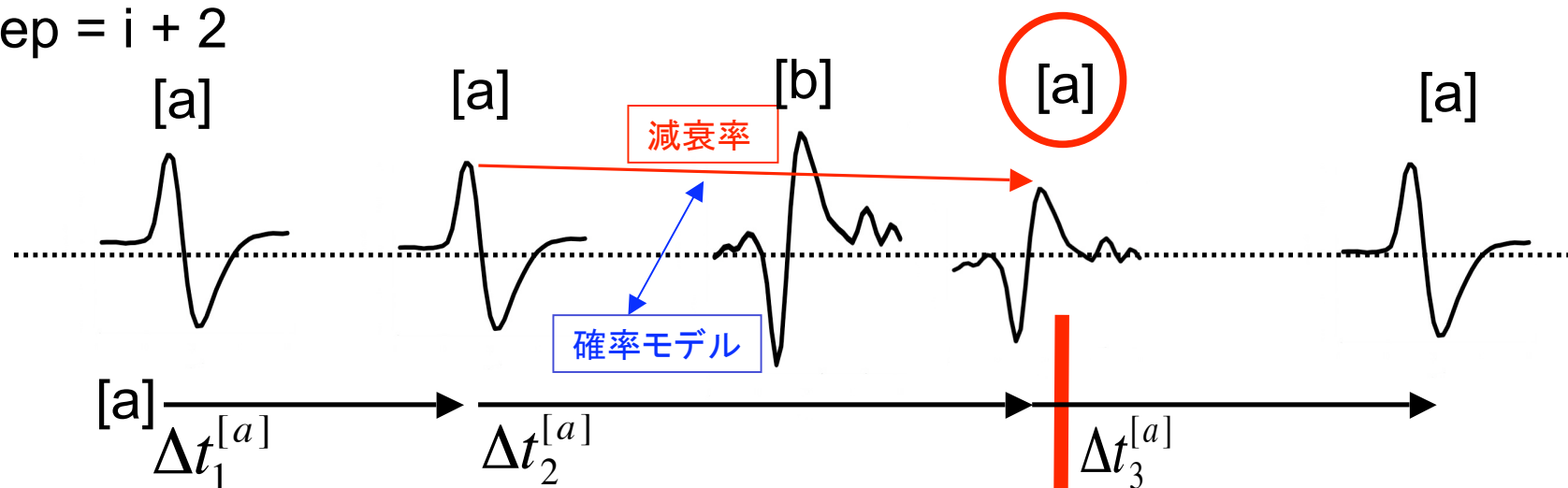


2つのニューロンからの5つのスパイク列。

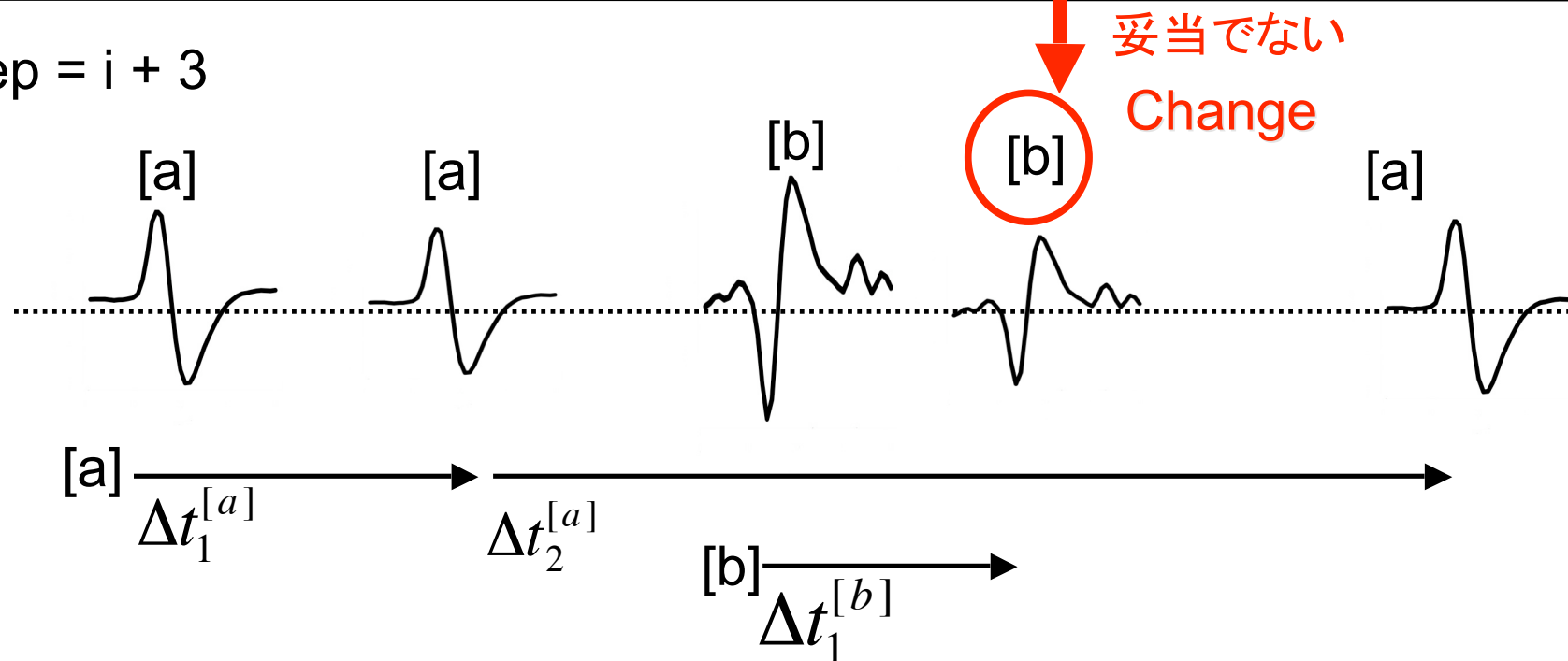
各スパイクには、従来の手法の結果を、正解と仮定して、ラベルがつけられているものとする。

この状態を初期状態とし、以降のように正しいラベルに修正していく。

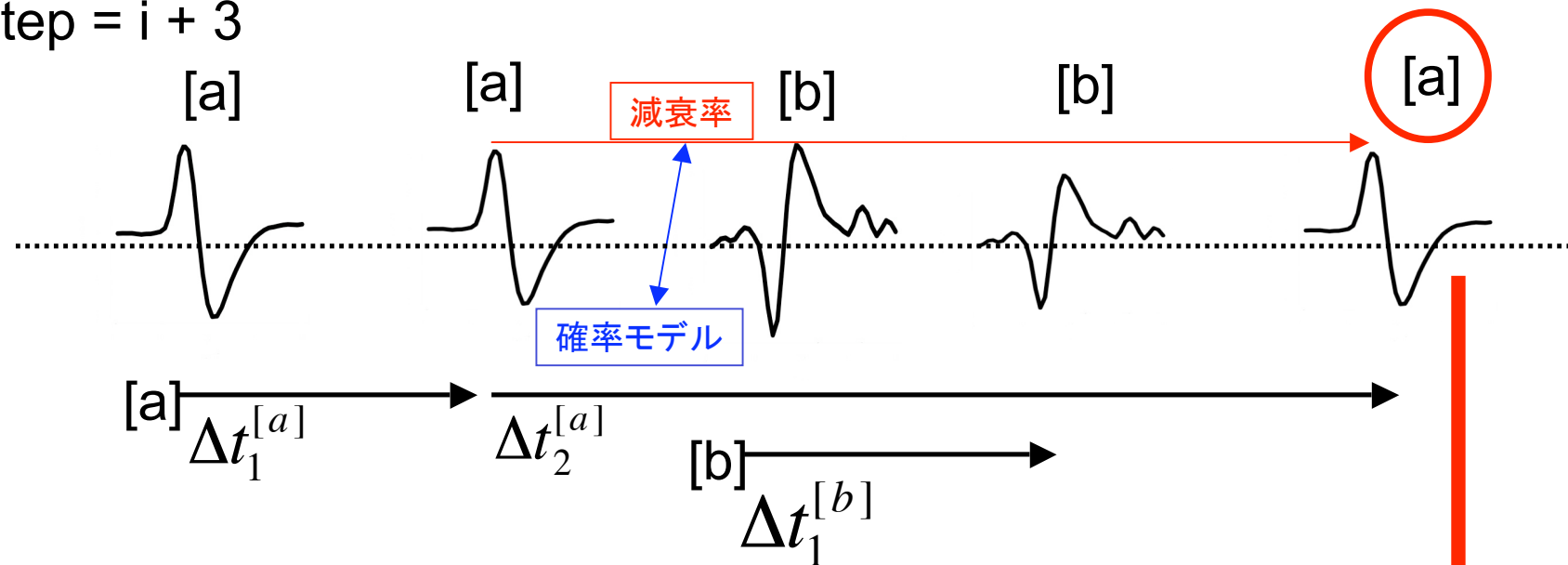
Step = i + 2



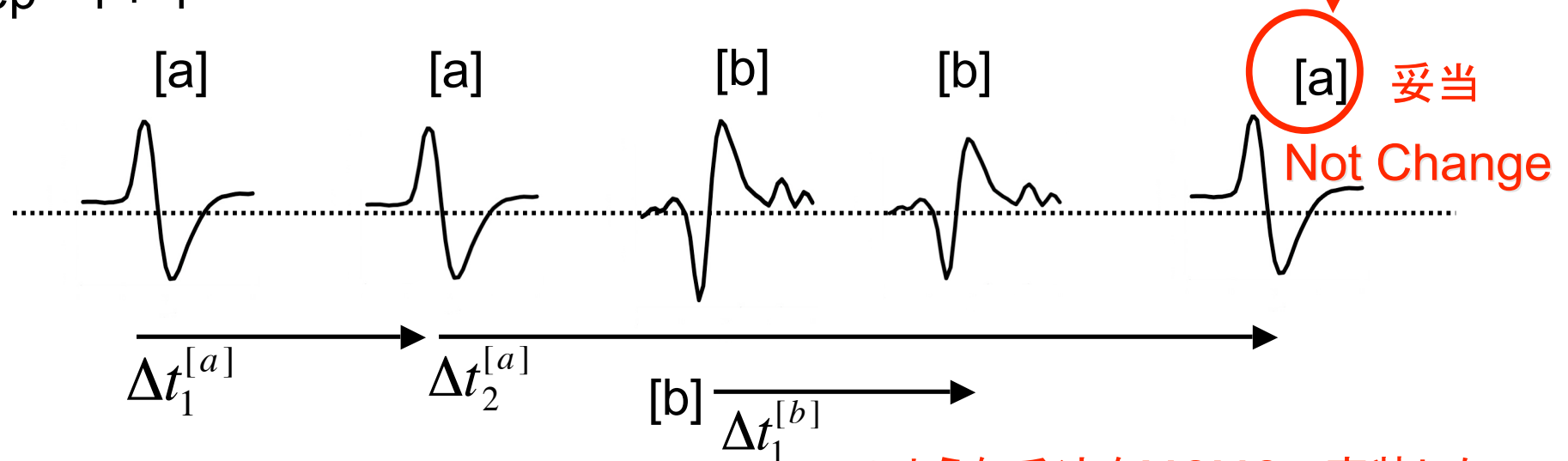
Step = i + 3



Step = $i + 3$

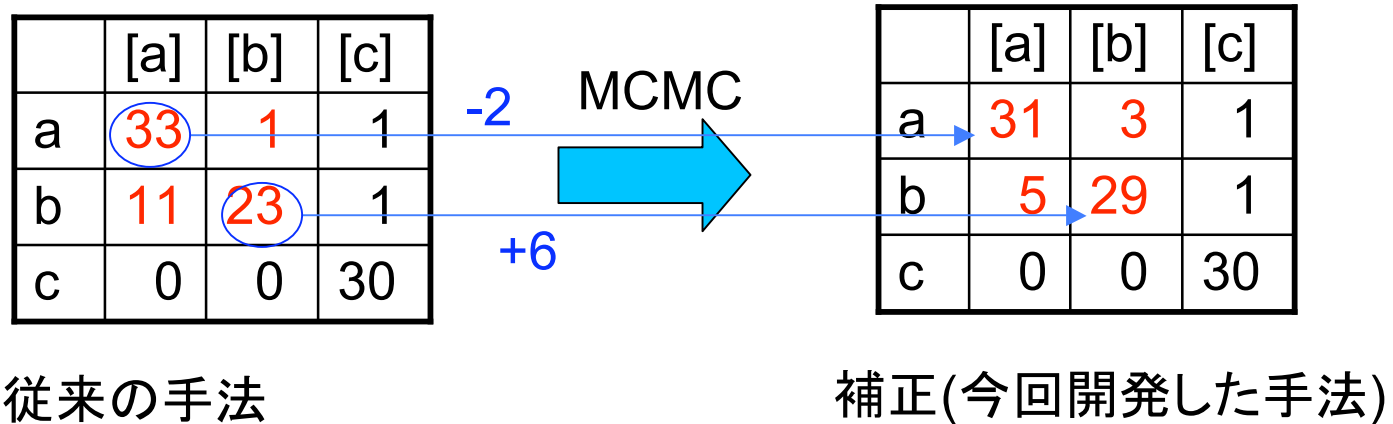


Step = $i + 4$



このような手法をMCMCで実装した。

結果：今回開発した手法による補正



今回は、従来の手法で、ラベル [a],[b] となった各スパイクにつき 30 回ステップを繰り返した。

正解したラベルを合計で $-2 + 6 = +4$ 個増やす事に成功した。

まとめ

減衰によるスパイク電位の変動を考慮に入れたスパイクソーティングの手法を開発した。

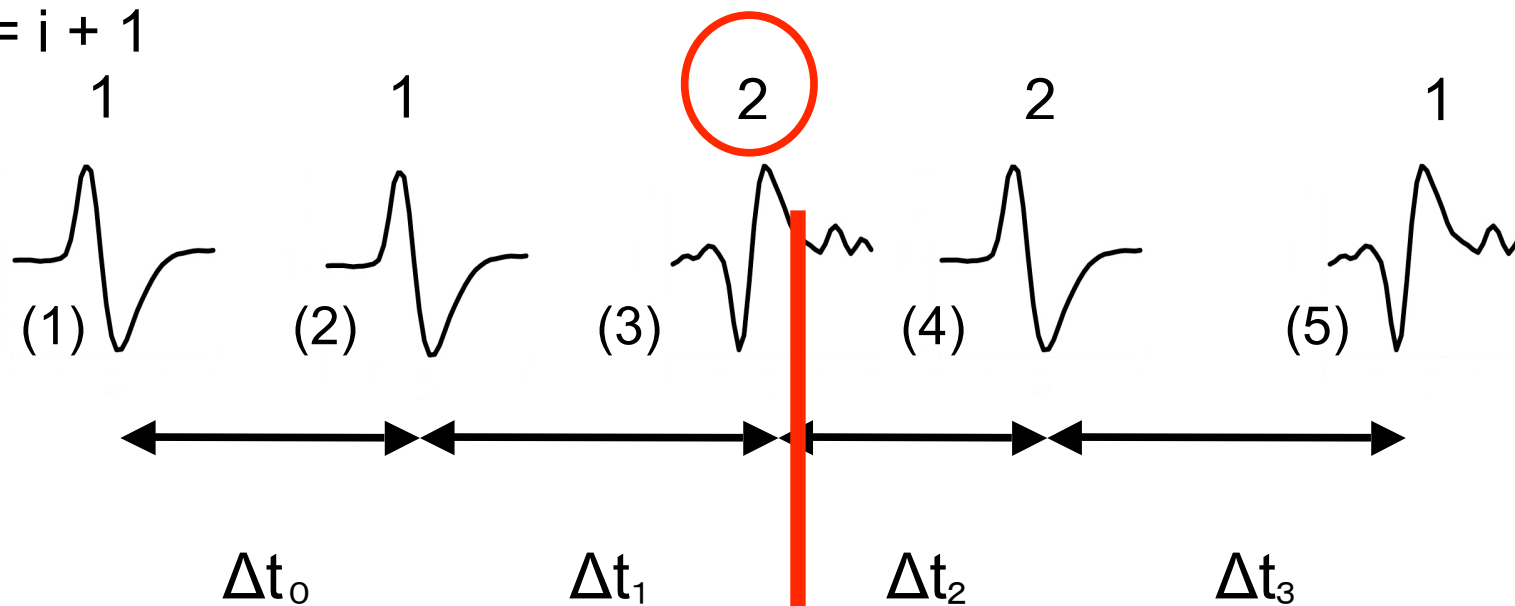
今回の手法は、マルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC)によって、実装した。

従来の手法でソーティングできなかった結果を補正し、スパイクソーティングの結果を向上させる事ができた。

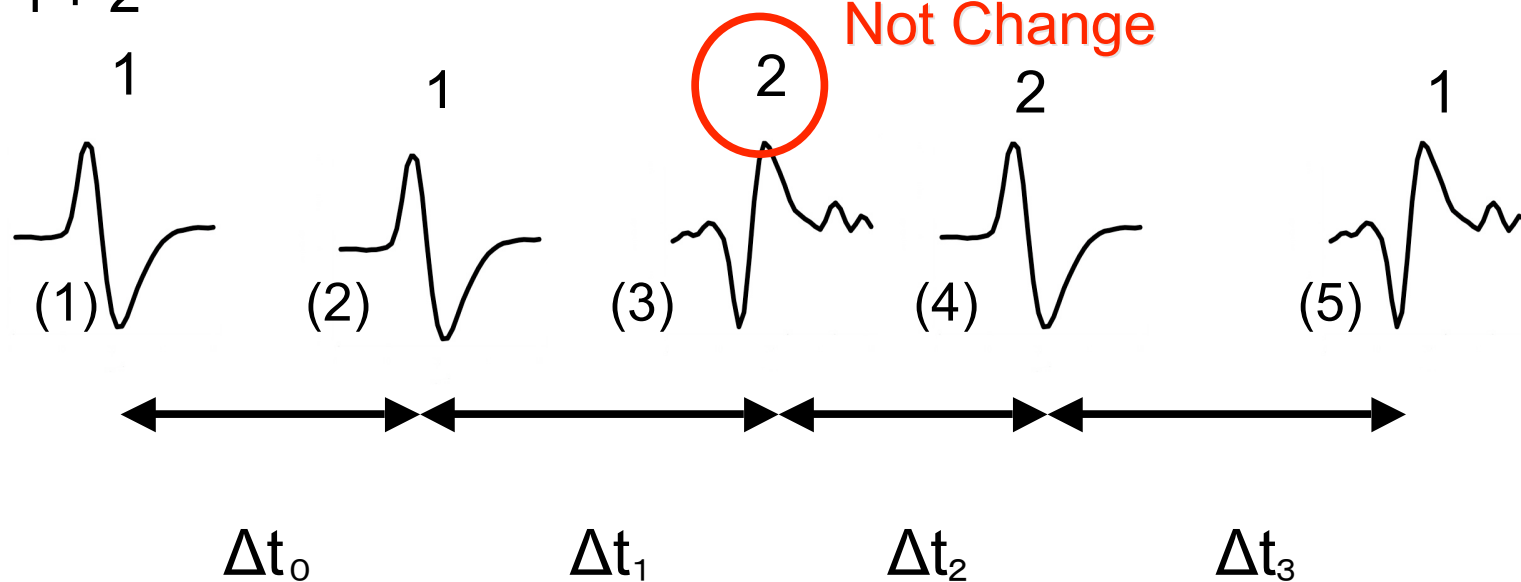
まとめ

- スパイク電位の減衰の確率モデルによるスパイクソーティングをMCMC法で実装する事により開発した。
- 従来の手法に、今回はスパイク電位の減衰を考慮にいれた手法を組み合わせると、従来の手法によるスパイクソーティングの結果を向上させる事ができた。

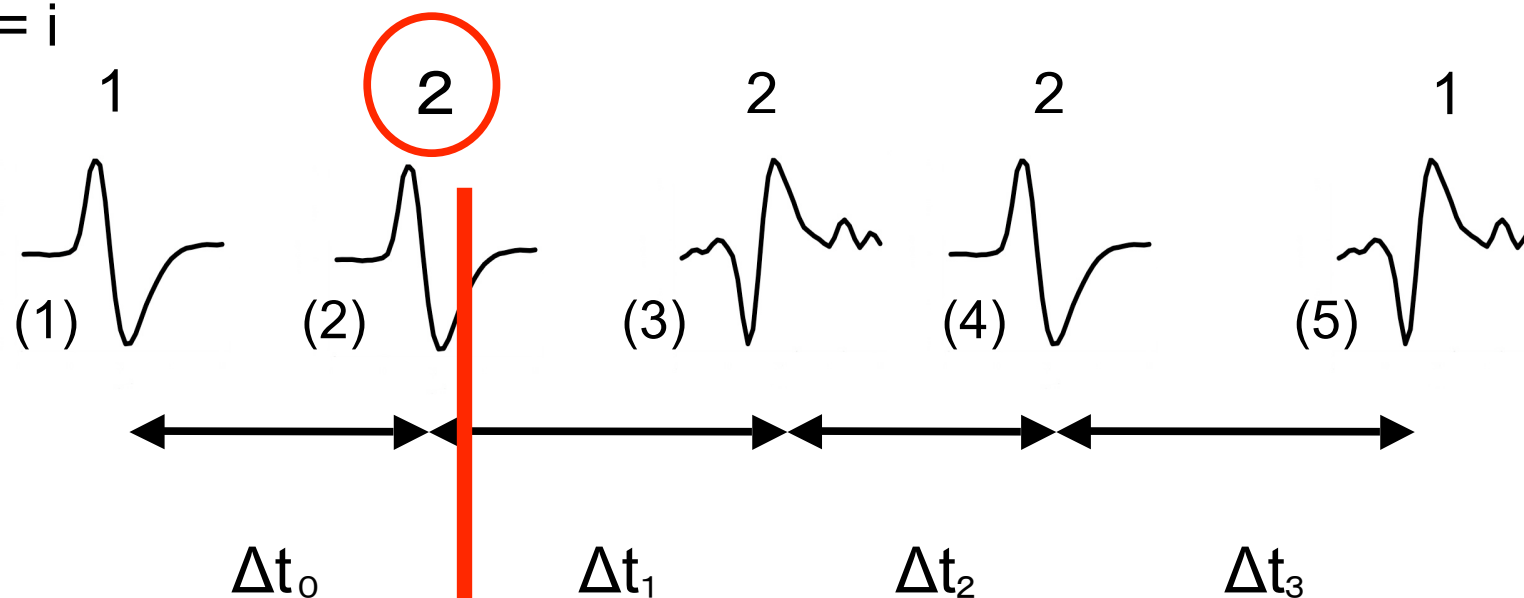
Step = $i + 1$



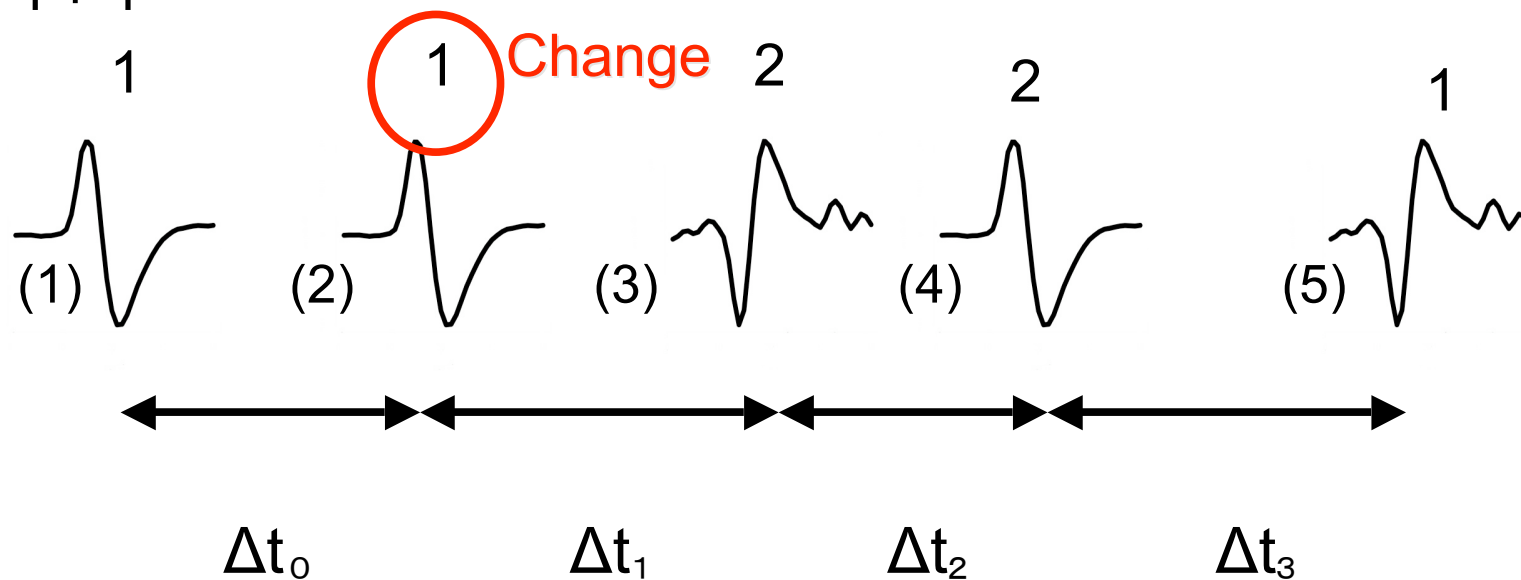
Step = $i + 2$



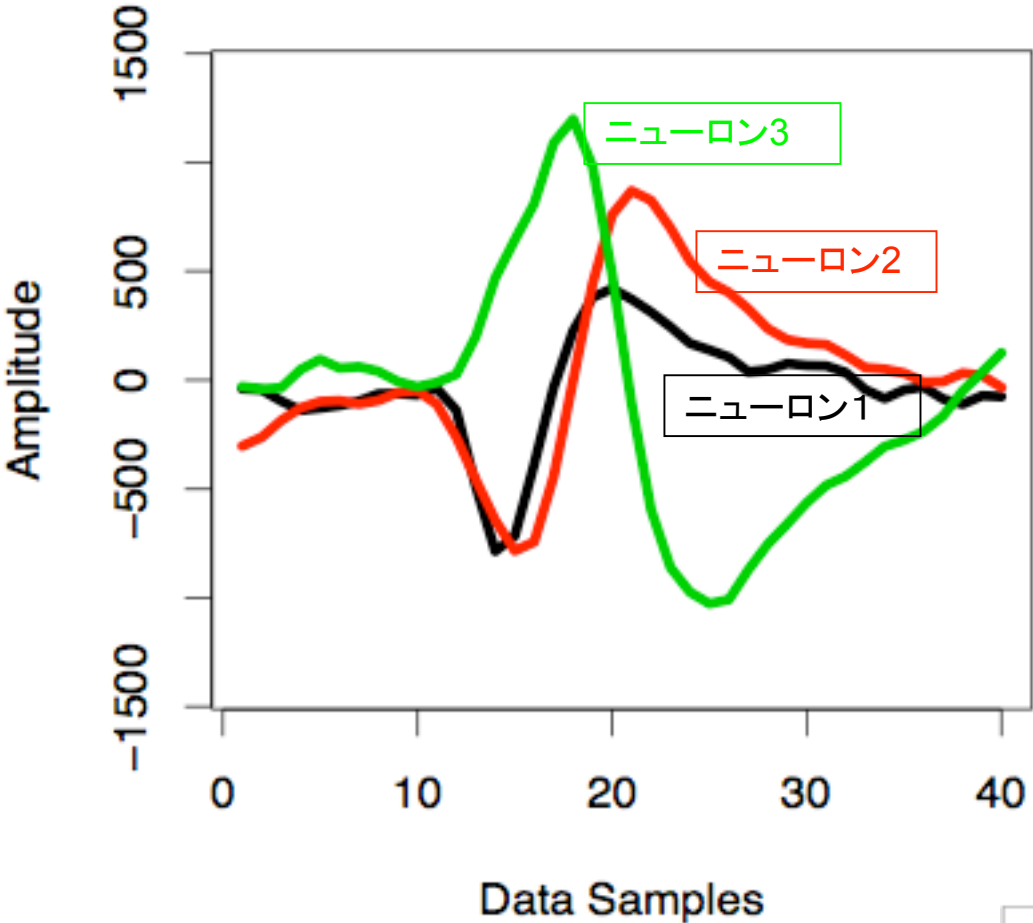
Step = i



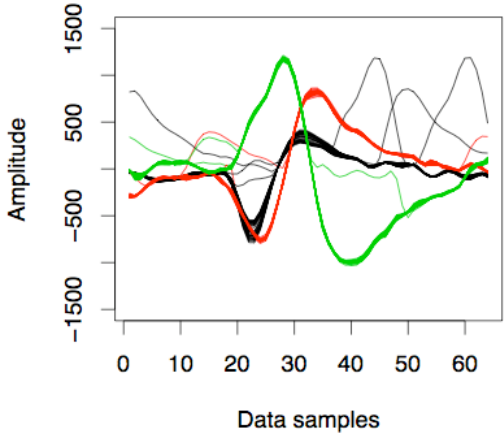
Step = i + 1



シミュレーションデータ



黒:ニューロン1(平均ISI短)
赤:ニューロン2(平均ISI短)
緑:ニューロン3



	スパイクの数	δ	λ	平均 ISI(s)
ニューロン1	35	0.5	180	0.020
ニューロン2	35	0.5	150	0.035
ニューロン3	30	0.5	150	0.200